

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102226697 B

(45) 授权公告日 2012. 11. 21

(21) 申请号 201110090610. 1

刘洪震. 全站仪固定测站三角高程法地表沉降测量应用技术. 《隧道建设》. 2011, 第 31 卷 (第 1 期), 全文.

(22) 申请日 2011. 04. 12

(73) 专利权人 杨浩

审查员 史敏峰

地址 450003 河南省郑州市金水路 109 号

(72) 发明人 杨浩

(51) Int. Cl.

G01C 5/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101373132 A, 2009. 02. 25, 全文.

CN 101975566 A, 2011. 02. 16, 全文.

WO 2010092203 A1, 2010. 08. 19, 全文.

CN 101016728 A, 2007. 08. 15, 全文.

熊飞等. 用全站仪进行隧道拱顶及地表沉降观测. 《土工基础》. 2009, 第 23 卷 (第 1 期), 全文.

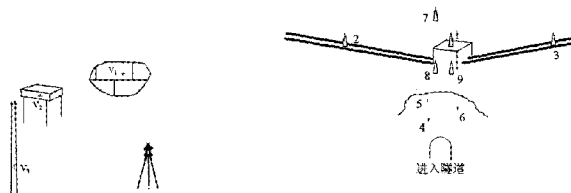
权利要求书 5 页 说明书 20 页 附图 2 页

(54) 发明名称

全站仪精密沉降监测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种全站仪精密沉降监测方法, 虚拟观测墩技术可获取高精度仪器高. 无关性沉降量计算方法使得与多个参数无关, 并在已知被监测点仅发生沉降不伴随平面位移的情况下, 允许一定的水平距误差存在和允许使用较大垂直角作业. 沉降开始发生或继续的判断法则以发现较小的沉降量, 对保护可能会发生变形的重点工程部位效果显著. 在监测初期利用尚未发生沉降的监测结果对其初始值进行修正, 使之更加逼近真值, 以提高沉降预报的可靠性. 除虚拟观测墩技术外, 本发明也适合于使用观测墩或仪器三脚架的全站仪沉降监测工作, 也不影响同时进行平面位移监测. 本发明几乎是 0 投资的, 不会因实施而增加费用, 且监测方法简单快捷、实施方便, 节约资源.



1. 全站仪精密沉降监测方法,是一种用全站仪和观测墩应用三角高程测量原理监测物体沉降的方法,其特征是:虚拟观测墩技术获取高精度仪器高;无关性沉降量计算方法,使得与多个包含误差的参数无关,而只与垂直角和水平距有关,并在已知被监测点仅发生沉降不伴随平面位移的情况下,允许一定的水平距误差存在和允许使用较大垂直角即  $10^\circ \sim 30^\circ$  作业;沉降开始发生或继续的判断法则,以发现较小的沉降量,对保护可能会发生变形的重点工程部位效果显著;在监测初期利用尚未发生沉降的监测结果对初始值进行修正,使初始值更加逼近真值,以提高沉降量的监测精度和可靠性;

虚拟观测墩由基准点、后视点、仪器三脚架和全站仪组成,通过后视点垂直角和后视镜距计算出数学仪器高增量和数学仪器高,并对数学仪器高增量的精度做出符合实际的估计,其方法是:

数学仪器高增量  $\Delta i$  为

$$\Delta i = D(\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2) \quad (1)$$

数学仪器高为

$$i = i_0 + \Delta i \quad (2)$$

其中: $\alpha_1$  为后视点的初始垂直角; $\alpha_2$  为后视点的后次观测垂直角; $i_0$  为初始仪器高; $i$  为后次架设全站仪的仪器高; $D$  为后视镜距;

如果后视点的后次观测垂直角与初始垂直角精度相同,则  $\Delta i$  的中误差计算公式为:

$$m_{\Delta i} = \pm \sqrt{(\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2)^2 m_D^2 + (\sec^4 \alpha_1 + \sec^4 \alpha_2) D^2 \frac{m_\alpha^2}{\rho^2}} \quad (3)$$

其中: $m_D$  是后视镜距中误差; $m_\alpha$  为垂直角观测中误差; $\rho = 206265''$ ;

因为精密沉降监测时垂直角的变化不大,因此,(3)式变为

$$m_{\Delta i} \approx \pm \sqrt{\tan^2(\alpha_1 - \alpha_2) m_D^2 + 2 \sec^4 \alpha_1 D^2 \frac{m_\alpha^2}{\rho^2}}$$

如果不考虑初始垂直角误差影响,则

$$m_{\Delta i} \approx \pm \sqrt{\tan^2(\alpha_1 - \alpha_2) m_D^2 + \sec^4 \alpha_1 D^2 \frac{m_\alpha^2}{\rho^2}}$$

对于一定的  $m_{\Delta i}$ ,其数学仪器高增量的范围不要超过下式的限制

$$\Delta i = \frac{D}{m_D} \sqrt{m_{\Delta i}^2 - \sec^4 \alpha_1 D^2 \frac{m_\alpha^2}{\rho^2}}$$

而相应的后视点垂直角增量范围为

$$\Delta \alpha = \mp \tan^{-1} \frac{\Delta i}{D}$$

无关性沉降量计算方法,其与基准点高程、监测点的高程或高差、初始仪器高、觇标高、垂线偏差影响、地球曲率影响、大气遮光影响均无关,直接计算出沉降量,其方法是从现有沉降量计算方法经过改进而得出:

(一) 现有沉降量计算方法和精度估计

三角高程测量原理高差的一般计算公式为

$$h = S \tan \alpha + i - v + f \quad (4)$$

现有方法获取沉降量是基于(4)式的,称为常规算法,具体步骤是:

先计算出初始高差

$$h_0 = S_0 \tan \alpha_0 + i_0 - v_0 + f_0 \quad (5)$$

再计算出后次观测高差

$$h = S \tan \alpha + i - v + f \quad (6)$$

然后计算出沉降量

$$\Delta h = h - h_0 \quad (7)$$

其中: $\alpha_0$ 为监测点的初始垂直角; $\alpha$ 为监测点的后次观测垂直角; $S_0$ 为初始水平距; $S$ 为后次观测水平距; $v_0$ 为初始觇标高; $v$ 为后次观测觇标高; $f_0$ 为初始球气差; $f$ 为后次观测球气差;工程测量中其垂线偏差一般不需要考虑;

通常,现有沉降量中误差计算公式是基于(4)式转化而来的,为

$$m_h = \pm \sqrt{\tan^2 \alpha m_s^2 + \sec^4 \alpha S^2 \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_i^2 + m_v^2 + m_f^2} \quad (9)$$

其中: $m_i$ 为仪器高中误差; $m_v$ 为觇标高中误差; $m_f$ 为球气差之中误差; $m_s$ 为水平距中误差;设 $m_{h_0}$ 是初始高差中误差,依(7)式,则沉降量中误差为

$$m_{\Delta h} = \sqrt{m_h^2 + m_{h_0}^2} \quad (10)$$

如果后次观测高差与初始高差的精度相同,即 $m_{h_0} = m_h$ ,则

$$m_{\Delta h} = \sqrt{2} m_h \quad (11)$$

如果初始高差的误差可忽略不计,则

$$m_{\Delta h} = m_h \quad (12)$$

(二) 无关性沉降量计算方法和精度估计

(1) 被监测点的沉降和平面位移同时发生或沉降伴随有平面位移发生的情况

所谓无关性沉降量计算方法是指公式中不包含常规算法中所必须的一些参数,将(5)式和(6)式代人(7)式,并顾及(1)式和(2)式得到

$$\Delta h = S \tan \alpha - S_0 \tan \alpha_0 + \Delta i + \Delta v + \Delta f \quad (13)$$

其中: $\Delta v = v_0 - v$ ,  $\Delta f = f - f_0$

当采用照准固定标志时, $v = 0$ 、 $v_0 = 0$ ,则 $\Delta v = 0$ ,而 $f \approx f_0$ ,此时的无关性沉降量计算公式变为

$$\Delta h = S \tan \alpha - S_0 \tan \alpha_0 + \Delta i \quad (14)$$

依(13)式可得沉降量中误差方程式为

$$m_{\Delta h} = \pm \sqrt{\tan^2 \alpha m_s^2 + \tan^2 \alpha_0 m_{s_0}^2 + S^2 \sec^4 \alpha \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + S_0^2 \sec^4 \alpha_0 \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2} + m_{\Delta i}^2 + m_{\Delta v}^2 + m_{\Delta f}^2} \quad (15)$$

其中:

①  $m_{\Delta i}$  为  $\Delta i$  的中误差,对于不同的应用二者具有不同的意义:

如果使用虚拟观测墩技术,则  $\Delta i$  为数学仪器高增量,  $m_{\Delta i}$  为数学仪器高增量中误差;

②  $m_{\Delta v}$  为觇标高残留中误差,当直接照准监测点上的固定照准标志时,则  $m_{\Delta v} = 0$ ;

③  $m_{\Delta f}$  为大气遮光影响之中误差,在较短距离条件下或采取后次观测与初始观测于每天同一时间段进行时,则该项误差甚小,可以忽略不计;

$m_{s_0}$ 为初始水平距中误差; $m_{\alpha_0}$ 为初始垂直角中误差;

因此,根据以上实际情况,(15)式可以得到简化,又因为一般实际工作时的初始观测和后次观测所采用的测距精度和测角精度都是相同的,所以还可以令 $m_s = m_{s_0}$ 、 $m_\alpha = m_{\alpha_0}$ ,作为系数还可以假设 $\alpha \approx \alpha_0$ 、 $S \approx S_0$ ,将是一种很好的近似,则(15)式可以简化为

$$m_{\Delta h} \approx \pm \sqrt{2 \left( \tan^2 \alpha m_s^2 + S^2 \sec^4 \alpha \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} \right) + m_{\Delta i}^2}$$

如果不考虑初始值误差,则

$$m_{\Delta h} \approx \pm \sqrt{\tan^2 \alpha m_s^2 + S^2 \sec^4 \alpha \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_{\Delta i}^2}$$

通过以上分析可知,在沉降和平面位移同时发生或沉降伴随有平面位移发生时,后次监测时应该同时观测距离;

(2) 已知被监测的点只发生沉降而不伴随平面位移发生的情况

此时 $S = S_0$ ,所以可将(14)式写成

$$\Delta h = S(\tan \alpha - \tan \alpha_0) + \Delta i$$

而(13)式可写成

$$\Delta h = S(\tan \alpha - \tan \alpha_0) + \Delta i + \Delta v + \Delta f$$

依上式的中误差估计式为

$$m_{\Delta h} = \pm \sqrt{(\tan \alpha - \tan \alpha_0)^2 m_s^2 + (\sec^4 \alpha + \sec^4 \alpha_0) S^2 \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_{\Delta i}^2 + m_{\Delta v}^2 + m_{\Delta f}^2} \quad (16)$$

因为精密沉降监测,其垂直角变化很小,可以令 $\Delta \alpha = \alpha - \alpha_0$ ,作为系数,还可以令 $\alpha \approx \alpha_0$ ,则

$$m_{\Delta h} \approx \pm \sqrt{\tan^2 \Delta \alpha m_s^2 + 2S^2 \sec^4 \alpha \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_{\Delta i}^2}$$

如果不考虑垂直角初始值误差,则

$$m_{\Delta h} \approx \pm \sqrt{\tan^2 \Delta \alpha m_s^2 + S^2 \sec^4 \alpha \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_{\Delta i}^2}$$

如果初始水平距是通过全站仪测距时,中误差 $m_s$ 是很小的,这时

$$m_{\Delta h} \approx \pm \sqrt{S^2 \sec^4 \alpha \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_{\Delta i}^2}$$

由于不能全部消除由于存在的距离系统误差 $\delta$ 对沉降的影响 $\Delta h^\delta$ ,所以对 $\delta$ 的限制可根据下式确定:

$$\Delta h^\delta = \tan \Delta \alpha \delta \quad (17)$$

沉降开始发生或继续的判断法则,提出了统一的沉降临界点的计算公式,设 $z_\alpha$ 是变形监测点的已知沉降中误差 $m_{\Delta h}$ 的倍数,当不考虑初始高差误差影响时,则 $m_{\Delta h} = m_n$ ,设 $k_n$ 为沉降临界点, $n$ 是对某一监测点的监测复测次数, $\overline{\Delta h}$ 为该监测点的这连续 $n$ 次监测复测结果的沉降量平均值,则当 $\overline{\Delta h} \leq k_n$ 且此后的连续监测结果均保持不等式一直成立时,则认为沉降开始发生或仍在继续,具体方法是:

如果初始高差中误差为  $m_{h_0}$ , 后次观测高差中误差为  $m_h$ , 则

$$k_n = -z_\alpha \sqrt{\frac{m_h^2}{n} + m_{h_0}^2} \quad (18)$$

如果初始高差和后次高差采用同精度观测, 并且初始高差是已经过  $u$  次观测得到的, 此时

$$m_{h_0}^2 = \frac{m_h^2}{u}$$

所以

$$k_n = -z_\alpha \sqrt{\frac{n+u}{nu}} |m_h| \quad (19)$$

如果初始高差和后次高差精度相同, 则

$$k_n = -z_\alpha \sqrt{\frac{n+1}{n}} |m_h| \quad (20)$$

如果初始高差很精确, 其误差可以忽略不计, 则

$$k_n = -z_\alpha \sqrt{\frac{1}{n}} |m_h| \quad (21)$$

(21) 式是理想的情况, 所以应该尽可能提高初始高差的精度以增加沉降量的可靠性; 对于沉降监测, 本检验法则主要用于以下两种场合:

(1) 当一次监测发现沉降量小于  $k_1$ , 这时需要进行复测确认, 若沉降量的均值小于  $k_n$ , 则认为沉降已经开始发生或正在继续,  $n \geq 3$ ;

(2) 对于比较重要的工程部位的沉降监测, 若怀疑沉降开始发生或继续, 可进行多余复测, 通过对得到的沉降量均值使用本检验法则确定之。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征是: 在监测初期, 利用尚未发生沉降的监测结果对其变形监测点的初始值进行修正, 使得初始值更加逼近真值; 对于初始高差的修正方法是将得到的沉降量平均值与初始高差或初始高程直接相加, 为了避免大量数据的重复调用和便于计算机处理, 可利用下面的平均值累加、累减公式进行修正计算:

(1) 平均值的累加修正计算公式分两种情况:

① 如果将第一次监测结果作为初始值, 则平均值的累加修正计算公式为

$$\bar{X}_n = \bar{X}_{n-1} + \xi_n \quad (n > 1) \quad (22)$$

其中:  $\xi_n = \frac{x_n - \bar{X}_{n-1}}{n}$

即实数序列  $x$  前  $n$  项的平均值  $\bar{X}_n$  等于它的前  $n-1$  项的平均值  $\bar{X}_{n-1}$  加上第  $n$  项  $x_n$  的修正值  $\xi_n$ ;

② 如果初始值是经过同精度  $k$  次观测而得到的  $\bar{X}_k$ , 后次观测次数  $n$  从第 1 次起算, 则

$$\bar{X}_{k+n} = \bar{X}_{k+n-1} + \xi_{k+n} \quad (n \geq 1) \quad (23)$$

其中:  $\xi_{k+n} = \frac{x_n - \bar{X}_{k+n-1}}{k+n}$

(2) 平均值的累减修正计算公式分两种情况:

① 如果将第一次监测结果作为初始值, 则平均值的累减修正计算公式为

$$\bar{X}_{n-1} = \bar{X}_n - \eta_n \quad (24)$$

$$\text{其中: } \eta_n = \frac{x_n - \bar{X}_n}{n-1}$$

即实数序列  $x$  前  $n-1$  项的平均值  $\bar{X}_{n-1}$  等于它的前  $n$  项平均值  $\bar{X}_n$  减去第  $n$  项  $x_n$  的修正值  $\eta_n$ ;

②如果初始值是经过同精度  $k$  次观测而得到的  $\bar{X}_k$ , 后次观测次数  $n$  从第 1 次起算, 则

$$\bar{X}_{k+n-1} = \bar{X}_{k+n} - \eta_{k+n} \quad (n \geq 1) \quad (25)$$

$$\text{其中: } \eta_{k+n} = \frac{x_n - \bar{X}_{k+n}}{k+n-1}$$

3. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征是: 同时进行平面位移监测。

## 全站仪精密沉降监测方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于工程测量领域中的地质、地物、建筑物等的垂直沉降变形监测。

### 背景技术

[0002] 对于地质、地物、建筑物等的沉降变形监测,目前主要有两种方法:第一种是水准测量,第二种是三角高程测量。

[0003] 第一种方法精度高,但一般需要三个专业测量人员和二名配合人员,且外业工作量大,观测时间长。

[0004] 第二种方法只需要一个专业测量人员和一名配合人员即可进行作业,且外业工作量少,观测时间短。该方法分两种情况:一是使用仪器三脚架的全站仪测量,二是使用观测墩的全站仪测量。后者与前者主要区别是,观测墩能够使得仪器高中误差从前者的 $\pm 2.0\text{mm}$ 提高为 $\pm 0.3\text{mm}$ 甚至更高。但是这种传统的方法存在以下改进和升级空间:

[0005] (1) 若需要建立观测墩但又无法建立观测墩,或者希望进行精密沉降监测而又因为使用仪器三脚架时的仪器高误差太大、从而造成只能满足较低等级的沉降监测精度;

[0006] (2) 现有沉降量计算方法依赖的参数多,如基准点高程、监测点的高程或高差、初始仪器高、觇标高、垂线偏差改正、地球曲率改正和大气遮光改正等,使得监测工作较为复杂;

[0007] (3) 对于沉降的开始发生和继续应该有一个统一的判断法则;

[0008] (4) 沉降量的精度和可靠性需要提高,以满足高精度的沉降监测预报工作。

### 发明内容

[0009] 几个主要名词解释:

[0010] ①监测和观测的区别:监测指的是对变形点的变化的监视,观测指的是对具体角度、距离等数据的测量,通过这些测量数据实现对变形点的监测。对于一个被监测点来说,一次监测可以只观测一次,也可以观测多次,除第一次观测为必要观测外,从第二次观测开始被称为是对本次监测的复测。

[0011] ②复测:是指重新架设全站仪并初始化相关设备再进行一次全面观测。复测可以消除多种误差,包括未知原因产生的正态分布误差。

[0012] ③基准点:在监测工作中,架设全站仪所依据的对中点叫做基准点,例如观测墩中心点或地面上的控制点。

[0013] ④水平距:基准点中心到监测点中心的水平距离。

[0014] ⑤后视点:用于精确求得全站仪仪器高的依据点。

[0015] ⑥后视距:基准点中心到后视点的水平距离。

[0016] ⑦仪器三脚架:是指在不使用观测墩时与全站仪配套使用的仪器三脚架。

[0017] ⑧观测墩:在实地上用水泥等材料建立起来的直径约 $0.5\text{m}$ 左右,高度约 $1.5\text{m}$ 左右的圆柱形或棱台形物体,其顶面中间有一个螺母,全站仪底座中间也有一个螺母,每次观测

前首先通过一个螺丝将两个螺母通过旋转全站仪拧紧连接在一起。

[0018] ⑨固定基准点沉降周期监测法：在监测期间用于全站仪设站的固定基准点不变，每次监测时全站仪均架设在这些固定点上对被监测点进行观测其沉降，其被监测点的沉降量通过后次观测值与其初始值进行比较而得到。因此，当初始值和后次观测值中包含相同的误差量或常量时，在计算沉降量时会自然抵消，因此对沉降量的精度没有影响，此称为等量消除现象，也可称为无关性。

[0019] 这种监测方法是一站式的，即全站仪架设在基准点上就能够直接对被监测点进行观测而得出沉降量，不需要转站，象图 1 那样的。而且，被监测的变形区域属于小范围精密监测，一般不需要构网，观测边长大多数情况下在几百米以内为宜，一般不超过 1 公里，若距离越长，其沉降量的精度应当首先通过估算是否符合具体工程的要求。

[0020] ⑩后次监测或后次观测：除获得初始值外，此后的每一次监测均称为后次监测或后次观测。

[0021] < 要解决的技术问题 >

[0022] 本发明的目的是通过研究给出一种方法，使得三角高程测量能够满足大量精密沉降监测工作的精度要求，从而节约人力资源，并使得监测工作高效、监测方法简单快捷而且精度高、实施方便、减少依赖因素和观测量、以及提高沉降预告的可靠性。本发明采用固定基准点沉降周期监测法作业获得沉降量。

[0023] (1) 虚拟观测墩技术

[0024] 建立虚拟观测墩的主要目的之一是要得到一个与观测墩等同精度的高精度仪器高。

[0025] (2) 减少依赖因素，直接计算沉降量

[0026] 新的无关性沉降量计算方法，使得与下列参数无关：基准点高程、监测点的高程或高差、初始仪器高、垂线偏差改正、地球曲率改正和大气遮光改正。而只用垂直角、水平距和后视距直接计算出沉降量；当已知监测点只发生沉降而不发生平面位移时，则后次监测时只观测垂直角，不需要观测水平距，且在这种情况下，允许使用较大垂直角（一般指  $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ）作业并允许水平距存在较大的误差，这都对监测工作有利。

[0027] (3) 判断沉降发生或继续的法则

[0028] 提出对沉降量的假设检验，并给出拒绝域和接受域临界值点的判断法则，以便发现沉降的开始或继续。应用本法则，可以发现较小的沉降量，以确保重点工程部位和建筑物的安全。

[0029] (4) 提高沉降量的监测精度和沉降预报的可靠性

[0030] ①将固定照准标志直接做在被监测目标上可以明显提高沉降量的精度，因不存在觇板安置误差。

[0031] ②在正式开始监测前，经过有限次观测获得的初始值，仍可能存在有较大的误差，因此，在监测初期，可利用尚未发生沉降的监测结果对初始值进行继续修正，使初始值更加逼近真值，使沉降预告更准确、更具可靠性。

[0032] (5) 兼容问题

[0033] 本发明同样兼顾适合于从事一般精度的沉降监测工作。除虚拟观测墩技术外，本发明也适合于使用观测墩、仪器三脚架的全站仪沉降监测工作。本发明不影响同时进行平



面位移监测。

[0034] <技术方案>

[0035] 在一定的设备和观测精度条件下,并采用固定基准点沉降周期监测法,本发明体现全站仪精密沉降监测的四个途径是:

[0036] (1) 使用虚拟观测墩(或观测墩),获得高精度仪器高;

[0037] (2) 无关性沉降量计算方法,使得与多个包含误差的参数无关,只与垂直角和水平距有关;

[0038] (3) 提高被监测点的初始值精度,使其更加逼近真值,以提高沉降量的精度和可靠性;

[0039] (4) 沉降发生和继续的判断准则,以发现较小的沉降量,对保护可能会发生变形的重点工程部位效果显著。

[0040] 以上四条是请求保护的权利。

[0041] 除了上述实现高精度途径外,要想进一步提高沉降监测精度,就需要提高垂直角的观测精度,提高测距精度,或使用精度更高的全站仪。必要时还要限制垂直角大小,限制水平距长度,这要根据具体工程的需求而定。

[0042] 一. 建立虚拟观测墩

[0043] 虚拟观测墩是指不需要建立观测墩,就可以达到与观测墩等同的仪器高精度和观测精度。

[0044] 如果需要建立观测墩而由于受施工干扰或地理位置的局限而无法建立观测墩、或者基岩太深而为建立观测墩深挖地基耗资太大、以及为了节约经费而不愿建立观测墩等,可以采用虚拟观测墩。也或者为了工作方便、经济和快捷而使用虚拟观测墩以获得高精度的仪器高。

[0045] 例如,在地下洞室进行洞顶的沉降监测,如果建立观测墩或在洞底建立固定标志,都很容易遭到施工机械或其它施工因素破坏。又如,若观测墩必须建立在无法避开施工现场时,则在监测期间观测墩很容易被施工机械或人为破坏,使得监测工作中断,甚至会影响施工进度,这时可以使用虚拟观测墩。

[0046] 虚拟观测墩由基准点、后视点、仪器三脚架和全站仪组成。

[0047] 最简单的虚拟观测墩只需要一个后视点。如果有绝对把握保证在监测期间后视点不会发生垂直位移,您可以选择一个或者两个后视点即可,但本发明建议至少建立三个后视点。因为后视点的建立和观测都很容易,且对工作十分有利,例如可以通过多个数学仪器高增量计算以后视距倒数为权的加权数学仪器高增量平均值以提高其精度,可以发现和定位个别后视点的垂直位移等。

[0048] (一) 选择基准点

[0049] 在合适的地面上选择一个监测用的基准点,也叫设站点,最好能与所有监测点通视,否则,应该选择第二个或更多的基准点,这时,相邻两个基准点之间至少要有2个重复监测点,以便实现对沉降量的相互检查。选择基准点要让地质人员参加,确保基准点选在稳定的地方。并且,当采用多个基准点工作时,可采用常规控制测量方法定期对基准点进行校测,以保证基准点之间的关系稳定不变。

[0050] 基准点距离变形区域越近越好,如果能采用一个基准点就能将被监测的点全部统

一观测,就不要选用两个基准点进行作业,但作为必要检查点的基准点除外,以此类推,尽可能采用较少的基准点完成监测工作为宜。

### [0051] (二) 建立后视点

[0052] 后视点可以建立在稳定的大型建筑物墙壁、岩石壁、大树干部、近距离地面等以及一切在监测期间不会发生垂直变形的物体上,并与基准点保持良好的通视。还可以自建打入地下一定深度的木桩、水泥柱等。自建桩打入地面的深度最好到岩石上,或咨询地质人员,其深度只要能保持其稳定即可。

### [0053] (三) 计算数学仪器高

[0054] 根据三角高程测量原理可知,对于同一个后视点,在同一个基准点上先后两次架设全站仪测得该后视点的高差应该相等,根据这一条件可以得到下列方程

$$[0055] \quad D \tan \alpha_1 + i_0 = D \tan \alpha_2 + i$$

[0056] 其中: $\alpha_1$ 为后视点的初始垂直角; $\alpha_2$ 为后视点的后次观测垂直角; $i_0$ 为初始仪器高; $i$ 为后次架设全站仪的仪器高; $D$ 为后视距。

[0057] 令  $\Delta i = i - i_0$ , 则

$$[0058] \quad \Delta i = D(\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2) \quad (1)$$

[0059] 而

$$[0060] \quad i = i_0 + \Delta i \quad (2)$$

[0061] 为了区别手工量取的仪器高,把这种通过计算方法得到的仪器高  $i$  称为数学仪器高,  $\Delta i$  称为数学仪器高增量。

[0062]  $\Delta i$  与垂线偏差影响和地球曲率影响无关,与大气遮光影响基本无关,而只与大气遮光影响之误差有关,但因后视点一般都不易选的太远、例如后视距在 150m 以内时,其影响误差可以忽略不计。一般地,只要观测方便,后视点选得近些为好。后视点建立的高度在 3m 以下为宜,但若后视距较长时应保证视线高出地面两米以上,后视点的标志中心大小应以能清晰的精确照准、保证垂直角的观测精度即可。

### [0063] (四) 数学仪器高增量 $\Delta i$ 的中误差

[0064] 如果后视点的后次观测垂直角与初始垂直角精度相同,则  $\Delta i$  的中误差计算公式为:

$$[0065] \quad m_{\Delta i} = \pm \sqrt{(\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2)^2 m_D^2 + (\sec^4 \alpha_1 + \sec^4 \alpha_2) D^2 \frac{m_\alpha^2}{\rho^2}} \quad (3)$$

[0066] 其中: $m_D$  是后视距中误差; $m_\alpha$  为垂直角观测中误差; $\rho = 206265''$ 。

[0067] 因为精密沉降监测垂直角的变化不大,所以后视距中误差  $m_D$  对数学仪器高的影响较小,这时

$$[0068] \quad \tan \alpha_1 - \tan \alpha_2 \approx \tan(\alpha_1 - \alpha_2)$$

[0069] 当  $\alpha_1 - \alpha_2 = 0.1^\circ$ 、 $m_D = \pm 50\text{mm}$  时

$$[0070] \quad (\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2) m_D = \pm 0.09\text{mm}$$

[0071] 可见,后视距的精度不需要很高,这也为实际工作带来了一些便利。

[0072] 因此,(3)式可以变为

$$[0073] \quad m_{\Delta i} \approx \pm \sqrt{\tan^2(\alpha_1 - \alpha_2) m_D^2 + 2 \sec^4 \alpha_1 D^2 \frac{m_\alpha^2}{\rho^2}}$$

[0074] 如果不考虑初始垂直角误差影响,则

$$[0075] \quad m_{\Delta i} \approx \pm \sqrt{\tan^2(\alpha_1 - \alpha_2) m_D^2 + \sec^4 \alpha_1 D^2 \frac{m_\alpha^2}{\rho^2}}$$

[0076] 对于一定的  $m_{\Delta i}$ ,其数学仪器高增量的范围不要超过下式的限制

$$[0077] \quad \Delta i = \frac{D}{m_D} \sqrt{m_{\Delta i}^2 - 2 \sec^4 \alpha_1 D^2 \frac{m_\alpha^2}{\rho^2}}$$

[0078] 而相应的后视点垂直角增量范围为

[0079]

$$\Delta \alpha = \mp \tan^{-1} \frac{\Delta i}{D}$$

[0080] 利用虚拟观测墩以获得高精度仪器高的理论和方法也可以称为虚拟观测墩技术。

[0081] 二. 沉降量计算

[0082] (一) 现有沉降量计算方法和精度估计

[0083] 三角高程测量原理高差的一般计算公式为

$$[0084] \quad h = S \tan \alpha + i - v + f \quad (4)$$

[0085] 在工程测量中,由于边长都比较短,垂线偏差对高差的影响极小,可以忽略不计。

[0086] 现有方法获取沉降量是基于(4)式的,也称为常规算法,具体步骤是:

[0087] 先计算出初始高差

$$[0088] \quad h_0 = S_0 \tan \alpha_0 + i_0 - v_0 + f_0 \quad (5)$$

[0089] 再计算出后次观测高差

$$[0090] \quad h = S \tan \alpha + i - v + f \quad (6)$$

[0091] 然后计算出沉降量

$$[0092] \quad \Delta h = h - h_0 \quad (7)$$

[0093] 其中: $\alpha_0$ 为监测点的初始垂直角; $\alpha$ 为监测点的后次观测垂直角; $S_0$ 为初始水平距; $S$ 为后次观测水平距; $v_0$ 为初始觇标高; $v$ 为后次观测觇标高; $f_0$ 为初始球气差; $f$ 为后次观测球气差。

[0094] 另外,也可以通过高程推算沉降量,方法是:

[0095] 设  $H_A$  为基准点的高程,则监测点的初始高程为

$$[0096] \quad H_0 = H_A + h_0$$

[0097] 后次观测高程为

$$[0098] \quad H = H_A + h$$

[0099] 沉降量为

$$[0100] \quad \Delta h = H - H_0 \quad (8)$$

[0101] 上述两种计算沉降量的方法顾及的参数较多,甚至沉降量的精度估计与基准点高程、监测点的高程或高差、初始仪器高、觇标高、地球曲率影响、大气遮光影响均有关。

[0102] 通常,现有沉降量中误差计算公式是基于(4)式转化而来的中误差方程式,为

$$[0103] \quad m_h = \pm \sqrt{\tan^2 \alpha m_s^2 + \sec^4 \alpha S^2 \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_i^2 + m_v^2 + m_f^2} \quad (9)$$

[0104] 其中： $m_i$  为仪器高中误差； $m_v$  为觇标高中误差； $m_f$  为球气差之中误差； $m_s$  为水平距中误差。设  $m_{h_0}$  是初始高差中误差，依 (7) 式，则沉降量中误差为

$$[0105] \quad m_{\Delta h} = \sqrt{m_h^2 + m_{h_0}^2} \quad (10)$$

[0106] 如果后次高差观测值与初始高差的精度相同，即  $m_{h_0} = m_h$ ，则

$$[0107] \quad m_{\Delta h} = \sqrt{2} m_h \quad (11)$$

[0108] 如果初始高差的误差可忽略不计，则

$$[0109] \quad m_{\Delta h} = m_h \quad (12)$$

[0110] 若依 (8) 式，则沉降量中误差的计算与上述类似，只不过  $m_{h_0}$  表示被监测点的初始高程中误差， $m_h$  表示被监测点的后次监测高程中误差，而且此二者还与基准点高程  $H_A$  的误差传递有关。

[0111] 如果采用了固定基准点沉降周期监测法进行监测，按照常规算法，先由基准点出发推算出监测点的初始高差或高程，后次监测时观测计算出后次高差或高程，然后计算沉降量，这是大部分测量外业人员的习惯做法，但其中却进行了许多多余的工作，例如地球曲率改正，在初始高差和后次高差中都加上了，但在进行沉降量计算时由于存在等量消除现象二者又抵消了，因为对于一条水平距边长来说，地球曲率改正是一个不变的量。因此，采用常规算法计算沉降量是可以的，只不过进行了一些多余计算，不影响最终沉降量计算结果，但对于沉降量的精度估计却不能再使用基于 (9) 式的那套中误差计算公式了，因为那些具有等量消除的误差量不应该再估计在内了，应该分情况使用下面的无关性沉降量计算方法中推导出的精度估计公式进行计算。

[0112] (二) 无关性沉降量计算方法和精度估计

[0113] 在采用了固定基准点沉降周期监测法以后，通过进一步归纳推导，使得沉降量公式中实现等量消除，将减少许多参数依赖，使得劳动强度降低、计算简单、沉降量精度提高。

[0114] (1) 被监测点的沉降和平面位移同时发生或沉降伴随有平面位移发生的情况

[0115] 所谓无关性沉降量计算方法是指公式中不包含常规算法中所必须的一些参数。

[0116] 将 (5) 式和 (6) 式代人 (7) 式，并顾及 (1) 式和 (2) 式得到

$$[0117] \quad \Delta h = S \tan \alpha - S_0 \tan \alpha_0 + \Delta i + \Delta v + \Delta f \quad (13)$$

[0118] 其中： $\Delta v = v_0 - v$ ， $\Delta f = f - f_0$

[0119] 当采用照准固定标志时， $v = 0$ 、 $v_0 = 0$ ，则  $\Delta v = 0$ ，而  $f \approx f_0$ ，此时的无关性沉降量计算公式变为

$$[0120] \quad \Delta h = S \tan \alpha - S_0 \tan \alpha_0 + \Delta i \quad (14)$$

[0121] 可见，(14) 式与基准点高程、监测点的高程或高差、初始仪器高、觇标高、垂线偏差影响、地球曲率影响、大气遮光影响均无关，直接计算出沉降量。而且，沉降量的精度也不依赖于这些相关量了，因此提高了沉降量的精度。

[0122] 依 (13) 式可得沉降量中误差为

[0123]

$$m_{\Delta h} = \pm \sqrt{\tan^2 \alpha m_S^2 + \tan^2 \alpha_0 m_{S_0}^2 + S^2 \sec^4 \alpha \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + S_0^2 \sec^4 \alpha_0 \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2} + m_{\Delta i}^2 + m_{\Delta v}^2 + m_{\Delta f}^2} \quad (15)$$

[0124] 其中：

[0125] ①  $m_{\Delta i}$  为  $\Delta i$  的中误差，对于不同的应用具有不同的意义：

[0126] 如果使用虚拟观测墩技术，则  $\Delta i$  为数学仪器高增量， $m_{\Delta i}$  为数学仪器高增量中误差；

[0127] 如果使用观测墩，则  $\Delta i = 0$ 、 $m_{\Delta i} = 0$ ；

[0128] 如果使用仪器三脚架，则  $\Delta i$  为后次观测时的手工丈量仪器高  $i$  与初始仪器高  $i_0$  的差， $m_{\Delta i}$  为  $\Delta i$  的中误差；

[0129] ②  $m_{\Delta v}$  为觇标高残留中误差，当直接照准监测点上的固定照准标志时，则  $m_{\Delta v} = 0$ ；

[0130] ③  $m_{\Delta f}$  为球气差影响中误差，而其中只需考虑大气遮光影响，与地球曲率影响已无关。实验表明，大气遮光系数  $k$  值在早、晚变化剧烈，数值偏大。中午前后较稳定，比 0.14 稍小， $k$  值中误差  $m_k = \pm 0.05$ ，由此引起的高度中误差，也可称为大气遮光影响之中误差，为  $m_{f_k} = \frac{D^2}{2R} m_k = \pm 3.92 D^2 (mm)$ ，在这个式子中， $D$  为水平距离：单位为 km； $R$  为地球半径：值为 6371km；

[0131] 为了使得这项误差在一定距离观测条件下得到消除，应选择短距离方案监测，或采取后次观测与初始观测于每天的同一时间段进行，则  $m_{f_k}$  甚小，可以忽略不计。例如水平距在 100m 以内时，可以认为  $m_{\Delta f} = \sqrt{2} m_{f_k} \approx 0$ ；

[0132]  $m_{S_0}$  为初始水平距中误差； $m_{\alpha_0}$  为初始垂直角中误差。

[0133] 因此，根据以上实际情况，(15) 式可以得到简化，又因为一般实际工作时的初始观测和后次观测所采用的测距精度和测角精度都是相同的，所以又可以令  $m_S = m_{S_0}$ 、 $m_\alpha = m_{\alpha_0}$ ，作为系数还可以假设  $\alpha \approx \alpha_0$ 、 $S \approx S_0$  将是一种很好的近似，所以 (15) 式可简化为

$$[0134] \quad m_{\Delta h} \approx \pm \sqrt{2 \left( \tan^2 \alpha m_S^2 + S^2 \sec^4 \alpha \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} \right) + m_{\Delta i}^2}$$

[0135] 如果不考虑初始值误差，则

$$[0136] \quad m_{\Delta h} \approx \pm \sqrt{\tan^2 \alpha m_S^2 + S^2 \sec^4 \alpha \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_{\Delta i}^2}$$

[0137] 通过以上分析可知，在沉降和平面位移同时发生或沉降伴随有平面位移发生时，后次监测时应该同时精确观测距离，例如本工程的 1、2、3、7、8、9 六个变形监测点就是如此。如果距离误差较大，为了满足一定的沉降精度要求，则应该选择较小的垂直角作业。

[0138] (2) 已知被监测的点只发生沉降而不伴随平面位移发生的情况

[0139] 例如本工程的 4、5、6 三个变形监测点就属于这种情况，此时  $S = S_0$ ，所以可将 (14) 式写成

$$[0140] \quad \Delta h = S(\tan \alpha - \tan \alpha_0) + \Delta i$$

[0141] 而 (13) 式可写成

$$[0142] \quad \Delta h = S(\tan \alpha - \tan \alpha_0) + \Delta i + \Delta v + \Delta f$$

[0143] 依上式的中误差估计式为

$$[0144] \quad m_{\Delta h} = \pm \sqrt{(\tan \alpha - \tan \alpha_0)^2 m_s^2 + (\sec^4 \alpha + \sec^4 \alpha_0) S^2 \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_{\Delta i}^2 + m_{\Delta v}^2 + m_{\Delta f}^2} \quad (16)$$

[0145] 因为精密沉降监测,其垂直角变化很小,可以令  $\Delta \alpha = \alpha - \alpha_0$ ,作为系数,还可以令  $\alpha \approx \alpha_0$ ,则

$$[0146] \quad m_{\Delta h} \approx \pm \sqrt{\tan^2 \Delta \alpha m_s^2 + 2S^2 \sec^4 \alpha \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_{\Delta i}^2}$$

[0147] 如果不考虑垂直角初始值误差,则

$$[0148] \quad m_{\Delta h} \approx \pm \sqrt{\tan^2 \Delta \alpha m_s^2 + S^2 \sec^4 \alpha \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_{\Delta i}^2}$$

[0149] 如果初始水平距是通过全站仪测距时,中误差  $m_s$  是很小的,这时

$$[0150] \quad m_{\Delta h} \approx \pm \sqrt{S^2 \sec^4 \alpha \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_{\Delta i}^2}$$

[0151] 可见,在已知只发生沉降而不伴随平面位移发生的情况下,允许使用较大垂直角作业并允许水平距存在一定的误差,这可以从  $(\tan \alpha - \tan \alpha_0)m_s$  项看出其影响很小,这都对监测工作有利,因设站点选择更加自由容易,选择范围扩大,不再为照顾必须使用较小垂直角作业而花费太多的时间和精力在野外选点,水平距离也不需要很精确,甚至可以从大比例尺地形图上量取水平距离也能保证一定的沉降量的精度。

[0152] 其实,即便是有水平位移伴随发生,但只要对水平距影响不大,而且同样可以允许使用较大垂直角作业并允许水平距存在较大的误差,不会影响沉降量的精度。这可以通过考察  $\tan \alpha_0 m_s$  项得出相应的结论,这里的  $m_s$  可以看作是沉降的同时有水平位移伴随发生对水平距的影响,  $\tan \alpha_0 m_s$  的大小只要达到可以忽略不计或满足工程需要即可。

[0153] 在无关性沉降量计算公式 (14) 中的后次观测垂直角  $\alpha$  不仅仅是沉降造成的,也包含了全站仪后次架设的高度与初始仪器高不同时由于数学仪器高增量而引起的垂直角增量,也就是说,  $\alpha$  是由三部分组成:

$$[0154] \quad \alpha = \alpha_0 + \Delta \alpha$$

[0155] 其中:  $\Delta \alpha =$  数学仪器高增量而引起的垂直角增量 + 沉降发生时产生的垂直角变化

[0156] 设水平距中误差  $m_s = \delta$  所引起的沉降量变化值为  $\Delta h^\delta$ ,则依 (16) 式根号下第一项可知

$$[0157] \quad \Delta h^\delta = \delta (\tan \alpha - \tan \alpha_0)$$

[0158] 在精密沉降监测工作中,  $\alpha$  与  $\alpha_0$  一般相差不大,例如在采用虚拟观测墩时,当水平距为 100m,设最大数学仪器高增量为 0.1m,最大下沉量为 0.1m,此时垂直角的变化为  $\Delta \alpha = \alpha - \alpha_0 = 0^\circ 06' 53''$ 。所以

$$[0159] \quad \tan \alpha - \tan \alpha_0 \approx \tan \Delta \alpha$$

$$[0160] \quad \Delta h^\delta = \tan \Delta \alpha \delta \quad (17)$$

[0161] 这时,若  $\delta = 50\text{mm}$ ,则  $\Delta h^\delta = 0.1\text{mm}$ 。可见在已知只发生沉降而不伴随平面位移发生的情况下,水平距系统误差  $\delta$  对沉降量的影响很小。然而,通过该例子可知,若由于存

在的距离系统误差太大时,将会对沉降产生剩余误差影响  $\Delta h^\delta$ ,这时,不能全部消除由于距离系统误差对沉降的影响,所以要对  $\delta$  进行限制,可根据 (17) 式确定。

[0162]  $m_{\Delta h}$  可以换算为  $m_h$ ,不过要注意,根据最小二乘法统计结果的  $m_{\Delta h}$  就是  $m_h$ ,是与初始值  $h_0$  和其精度  $m_{h_0}$  无关的,即满足 (12) 式,因依据 (7) 式可得  $D(\Delta h) = D(h)$ ,可见最小二乘法将  $h_0$  作为常数处理。

[0163] 如果需要知道顾及初始值的沉降量中误差,则一般应按 (10) 式或 (11) 式估计得到。即,先根据最小二乘法通过对大量实际沉降监测数据进行统计得到  $m_{\Delta h}$  即  $m_h$ ,然后再按 (10) 式或 (11) 式计算出顾及高差初始值误差的沉降量的精度。

[0164] 另外须注意:对于现有沉降量计算方法,即常规算法,如果采用了固定基准点沉降周期监测法进行监测作业,则沉降量的中误差估计应该使用基于 (15) 式或 (16) 式的方法进行。

[0165] 三. 沉降发生或继续的判断准则

[0166] 首先根据被监测对象的沉降限差来确定监测限差,可根据具体的工程和国家相应的规范来定。沉降限差是沉降对象发生倒塌、断裂等可能造成重大事故的极限值。

[0167] 因为沉降量被定义为负值,所以适合于左尾检验法,如图 3 所示。其中  $z_\alpha$  是变形监测点的已知沉降中误差  $m_{\Delta h}$  的倍数,可以根据具体工作情况确定。当不考虑初始高差误差影响时,则  $m_{\Delta h} = m_h$ ,  $m_h$  是监测点高差的已知中误差,  $m_{\Delta h}^2$ 、 $m_h^2$  可以看作是相应的母体方差或其估值。如果被监测对象很重要,需要确保安全,宁可信其有不可信其无以引起高度重视,在这种情况下可以令  $z_\alpha = 1$ ,即用中误差作为限差,并通过多余复测发现较小的沉降量。否则,可以用二倍或三倍中误差作为限差。

[0168] 设  $k_n$  为沉降临界点,  $n$  是对某一监测点的监测复测次数,  $\overline{\Delta h}$  为该监测点的这连续  $n$  次监测结果的沉降量平均值,则当  $\overline{\Delta h} \leq k_n$  且此后的连续监测结果均保持不等式一直成立时,则认为沉降开始发生或仍在继续。

[0169] 所谓沉降开始发生,是指物体从稳定状态改变到沉降状态。

[0170] 所谓沉降继续,是指当监测到沉降开始发生以后,把前后相邻两次后次监测结果进行比较,分析沉降是否仍在持续发生。

[0171] 具体判断的方法如下:

[0172] 设  $i$  为一监测点的点号或点名,对于监测点  $i$  同精度观测了  $n$  次,得到  $n$  个沉降量的平均值  $\overline{\Delta h}_i$ ,其中误差为  $m_{\overline{\Delta h}_i}$ ,因此,在沉降未发生时,均值  $\overline{\Delta h}_i$  服从  $N(0, m_{\overline{\Delta h}_i}^2)$  正态分布,  $m_{\overline{\Delta h}_i}^2$  用母体方差或母体方差估值代替。取标准化后的检验统计量为

$$[0173] \quad z = \frac{\overline{\Delta h}_i}{m_{\overline{\Delta h}_i}} \sim N(0,1)$$

[0174] 由这  $n$  个样本得到的均值  $\overline{\Delta h}_i$  推断母体的均值是否为 0,若不为 0,则表明沉降已经发生。于是进行假设检验。设

[0175] 原假设  $H_0: \mu = 0$       备选假设  $H_1: \mu \neq 0$

[0176] 注:备选假设  $H_1$  表示的实际意义为沉降已经发生,  $\mu$  的数值就是沉降量均值  $\overline{\Delta h}_i$ 。

[0177] 这时,当在选取的显著水平  $\alpha$  时下式成立,即  $z_\alpha$  值 ( $z_\alpha$  为标准正态分布在其横坐标轴上的读数) 若满足下列概率关系式

$$[0178] \quad P \left\{ \frac{\overline{\Delta h}_i}{m_{\overline{\Delta h}_i}} \leq -z_\alpha \right\} = \alpha$$

[0179] 则表示将接受备选假设,即沉降已经发生。否则,认为沉降没有发生,此次抽样观测结果对母体的均值估计被接受。

[0180] 于是拒绝域为

$$[0181] \quad z = \frac{\overline{\Delta h}_i}{m_{\overline{\Delta h}_i}} \leq -z_\alpha$$

[0182] 上式的等价形式之一为

$$[0183] \quad \overline{\Delta h}_i \leq -z_\alpha m_{\overline{\Delta h}_i}$$

[0184] 令

$$[0185] \quad k_n = -z_\alpha m_{\overline{\Delta h}_i}$$

[0186]  $k_n$  即为正态随机分布在其横坐标轴上的读数,是沉降平均值的临界点(或叫临界值),即正态随机变量的值;则

$$[0187] \quad \overline{\Delta h}_i \leq k_n$$

[0188] 即若一旦计算得到的第  $i$  个被监测点的沉降量平均值  $\overline{\Delta h}_i$  小于等于这个临界值  $k_n$ , 则有理由认为该监测点的沉降已经发生或仍在继续发生;以下是几种情况下求沉降临界值点  $k_n$  的计算公式,区别在于沉降量平均值的中误差  $m_{\overline{\Delta h}_i}$  不同:

[0189] 如果初始高差中误差为  $m_{h_0}$ , 后次观测高差中误差为  $m_h$ , 则

$$[0190] \quad k_n = -z_\alpha \sqrt{\frac{m_h^2}{n} + m_{h_0}^2} \quad (18)$$

[0191] 其中,  $m_h^2$ 、 $m_{h_0}^2$  均应用母体方差或母体方差估值代替。

[0192] 如果不顾及初始高差中误差,并令  $n = 1$ , 则  $k_1 = -z_\alpha m_h$ , 即当一次观测得到的沉降量只要不小于  $k_1$  即认为沉降没有发生, 以往的日常工作中多令  $z_\alpha = 2$ , 即以二倍中误差作为限差, 是一种粗略判断沉降发生的方法, 除非使用的测量仪器很精密且采用了各种提高精度的措施使得  $m_h$  很小, 否则难以判断较小沉降量的发生, 尤其对于重要的工程变形部位的安全监测显然不合适。

[0193] 如果初始高差和后次高差采用同精度观测, 并且初始高差是已经过  $u$  次观测得到的, 此时

$$[0194] \quad m_{h_0}^2 = \frac{m_h^2}{u}$$

[0195] 所以

$$[0196] \quad k_n = -z_\alpha \sqrt{\frac{n+u}{nu}} |m_h| \quad (19)$$

[0197] 如果初始高差和后次高差精度相同, 则

$$[0198] \quad k_n = -z_\alpha \sqrt{\frac{n+1}{n}} |m_h| \quad (20)$$

[0199] 若令 (19) 式中的  $u = 1$  也可得到 (20) 式。

[0200] 如果初始高差很精确, 其误差可以忽略不计, 则



$$[0201] \quad k_n = -z_\alpha \sqrt{\frac{1}{n}} |m_h| \quad (21)$$

[0202] 比较以上四个沉降临界点  $k_n$  的计算公式可知, (21) 式是理想的情况, 所以应该尽可能提高初始高差的精度以增加沉降量的可靠性。

[0203] 对于沉降监测, 本检验法则主要用于以下两种场合:

[0204] (1) 当一次监测发现沉降量小于  $k_1$ , 这时需要进行复测确认, 若沉降量的均值小于  $k_n$ , 则认为沉降已经开始发生或正在继续, 建议  $n \geq 3$ ;

[0205] (2) 对于比较重要的工程部位的沉降监测, 若怀疑沉降开始发生或继续, 可进行多余复测, 通过对得到的沉降量均值使用本检验法则确定之。

[0206] 另外, 要想知道第  $j+1$  次监测相对于第  $j$  次监测是否沉降仍在继续, 则需要对第  $j+1$  次监测进行  $n$  次复测, 将复测结果与第  $j$  次监测得到的沉降量之差的平均值进行假设检验进行确定。此时, 若第  $j$  次监测结果也是通过若干次复测得到的, 则效果更好。增加复测次数, 是发现较小沉降量的关键。

[0207] 四. 提高沉降量的精度和可靠性

[0208] (一) 直接照准被监测目标上的固定照准标志

[0209] 对于沉降监测, 可以直接在被监测目标上做固定照准标志, 如小十字, 其大小和线粗以在望远镜中能清晰精确照准观测垂直角为宜, 标志中心就代表监测点。或者使用反射片, 既可以测距也可以当做照准标志。根据大量实际统计结果表明, 这种照准方法比照准监测目标上每次监测时都要安置的棱镜架面板 (或视板) 上的照准标记精度高。后者的误差来源主要是棱镜架的螺母对被监测点上的螺丝安置误差以及对镜架的整平误差所造成的。直接照准监测点上所做的固定照准标志, 将不存在这样的误差。

[0210] (二) 对变形监测点初始值的修正

[0211] 在监测初期, 利用尚未发生位移的观测结果对其变形监测点的初始值进行修正, 使得初始值更加逼近真值, 对此后的沉降预告更准确。修正的方法是: 求连续后次监测得到的位移平均值, 当位移尚未发生时, 该平均值的期望应该为 0, 因此对于累加修正计算来说, 直到均值稳定到连续多次 (建议三次以上) 的变化不超过预定的罚值为止, 当位移均值不为零时, 将其与原初始值相加就得到修正后的初始值。在求位移均值的过程中, 如果发现沉降开始发生, 则应立即终止修正工作, 而且为了保证已有的初始值的可靠性, 建议应该至少回溯一次, 即进行一次反修正, 例如, 若发现第  $i$  个监测点在第  $k$  次监测时位移开始发生, 则该点今后的初始值应该用第  $k-2$  ( $k > 1$ ) 次时的初始值。为了避免大量数据的重复调用和便于计算机处理而提高工作效率, 可利用下面的平均值累加、累减公式进行修正计算:

[0212] (1) 平均值的累加修正计算公式分两种情况:

[0213] ①如果将第一次监测结果作为初始值, 则平均值的累加修正计算公式为

$$[0214] \quad \bar{X}_n = \bar{X}_{n-1} + \xi_n \quad (n > 1) \quad (22)$$

[0215] 其中:  $\xi_n = \frac{x_n - \bar{X}_{n-1}}{n}$

[0216] 即实数序列  $x$  前  $n$  项的平均值  $\bar{X}_n$  等于它的前  $n-1$  项的平均值  $\bar{X}_{n-1}$  加上第  $n$  项  $x_n$  的修正值  $\xi_n$ 。

[0217] ②如果初始值是经过同精度  $k$  次观测而得到的  $\bar{X}_k$ , 后次观测次数  $n$  从第 1 次起算,

则

$$[0218] \quad \bar{X}_{k+n} = \bar{X}_{k+n-1} + \xi_{k+n} \quad (n \geq 1) \quad (23)$$

$$[0219] \quad \text{其中: } \xi_{k+n} = \frac{x_n - \bar{X}_{k+n-1}}{k+n}$$

[0220] (2) 平均值的累减修正计算公式分两种情况:

[0221] ①如果将第一次监测结果作为初始值,则平均值的累减修正计算公式为

$$[0222] \quad \bar{X}_{n-1} = \bar{X}_n - \eta_n \quad (24)$$

$$[0223] \quad \text{其中: } \eta_n = \frac{x_n - \bar{X}_n}{n-1}$$

[0224] 即实数序列  $x$  前  $n-1$  项的平均值  $\bar{X}_{n-1}$  等于它的前  $n$  项平均值  $\bar{X}_n$  减去第  $n$  项  $x_n$  的修正值  $\eta_n$ 。

[0225] ②如果初始值是经过同精度  $k$  次观测而得到的  $\bar{X}_k$ , 后次观测次数  $n$  从第 1 次起算, 则

$$[0226] \quad \bar{X}_{k+n-1} = \bar{X}_{k+n} - \eta_{k+n} \quad (n \geq 1) \quad (25)$$

$$[0227] \quad \text{其中: } \eta_{k+n} = \frac{x_n - \bar{X}_{k+n}}{k+n-1}$$

[0228] 对变形监测点初始值的修正工作可以是对初始高差或初始高程、初始平面坐标、初始垂直角的修正。例如,当沉降尚未发生时,  $E(\Delta h) = 0$ , 否则,对初始高差或初始高程进行修正,修正的方法是将得到的沉降量平均值  $\Delta h$  与初始高差或初始高程直接相加,或将  $\Delta h$  转换为对初始垂直角的修正。

[0229] 而对初始垂直角的修正分两步进行,先求沉降量平均值  $\Delta h$ ,当沉降尚未发生时,  $E(\Delta h) = 0$ , 否则,其误差主要是由初始垂直角  $\alpha_0$  的误差造成的,因此将  $\Delta h$  转换成对初始垂直角的修正,方法如下:

$$[0230] \quad d\alpha_0 = \frac{\cos^2 \alpha_0 dh}{S} \quad (26)$$

$$[0231] \quad dh = \overline{\Delta h} = \frac{\sum_{j=1}^n \Delta h_j}{n} \quad (27)$$

[0232]  $n$  为连续观测次数,修正后的初始垂直角为

$$[0233] \quad \alpha'_0 = \alpha_0 + d\alpha_0 \quad (28)$$

[0234] <有益效果>

[0235] 通过对中国科学院物理研究所大亚湾中微子实验站工程入口隧道边坡进行地质沉降监测,使用本发明效果显著。结合本实例说明本发明所产生的有益效果。

[0236] 如图 1 所示为该边坡的变形观测场,一共建立了 9 个变形监测点,据地质人员介绍,4、5、6 三点只会发生沉降不会发生平面位移,所以这三个点的水平距只确定一次初始值,后次监测时不再观测水平距,并且,这三个点采用直接照准监测目标上的固定照准标记,从而进一步提高了沉降监测精度;1、2、3、7、8、9 六个点都建立了小型照准墩,其墩的顶端为螺丝,每次监测时,将棱镜架先安置到照准墩上一定螺丝深度,通过精密整平后,照准棱镜架面板上的照准标记观测垂直角。

[0237] 使用拓普康 GTS301 全站仪观测垂直角,测距精度为  $\pm(2+2\text{ppm})\text{mm}$ ,一方向观测中误差为  $2.0''$ 。

[0238] 本观测场从 2008 年 7 月 7 日至 2010 年 1 月 28 日监测期间,经历了一年半的观测时间,共监测 105 次,期间实际观测到大量的外业数据,这些数据具有一定的统计特性,选

取稳定期的连续监测数据进行统计,根据统计结果,沉降监测工作达到了较高的精度,在监测期间为准确做出地质变形预告提供了充分的科学依据。

[0239] 一. 实际统计结果表明,应用本发明实现了高精度监测

[0240] 根据统计结果,本工程入口隧道边坡地质变形监测工作所达到的实际精度为:

[0241] ①采用虚拟观测墩技术后,仪器高中误差达到  $\pm 0.2\text{mm}$ 。

[0242] ② 4、5、6 三个沉降监测点,水平距分别为 64.0m、65.8m、65.3m,平均水平距为 65.0m,其沉降量中误差为  $\pm 0.51\text{mm}$ 。

[0243] ③ 1、2、3、7、8、9 六个三维监测点,水平距分别为 73.9m、68.7m、78.7m、80.5m、70.3m、72.2m,平均水平距为 74.0m,其沉降量中误差为  $\pm 0.81\text{mm}$ 。

[0244] 二. 无关性沉降量计算方法优于现有沉降量计算方法

[0245] 无关性沉降量计算方法有以下优点:

[0246] ①比现有沉降量计算方法减少了大量参数依赖,使精密监测工作得到简化,减轻了作业人员的内外业劳动强度并提高了工作效率。

[0247] 只用垂直角、水平距和后视镜距直接计算出沉降量。

[0248] 当已知监测点只发生沉降而不发生平面位移时,例如本工程的 4、5、6 三个沉降监测点,则后次监测时只观测垂直角,不需要观测水平距,而且,在这种情况下,允许使用较大垂直角作业并允许水平距存在较大的误差,这都对监测工作有利,因这时设站点选择更加自由容易、选择范围扩大,不再为照顾必须使用较小垂直角作业而花费太多的时间和精力在野外选点,水平距离也不需要很精确,甚至可以从大比例尺地形图上量取水平距离也能保证一定的沉降量的精度。

[0249] ②不需要依据基准点的高程,所以在监测期间尽管基准点有上升或下沉现象,不影响对监测点的沉降监测。但,取而代之的是至少一个近距后视点应确保不能发生垂直位移。

[0250] ③不需要仪器严格对中,这会使得外业架设仪器工作很轻松。对于沉降监测来说,仪器的对中误差最终反映到对后视镜距的误差影响,而从 (3) 式根号下第一项可以看出,后视镜距中误差  $m_b$  对数学仪器高  $m_{\Delta_i}$  的影响并不敏感,即后视镜距的精度要求不高,使得后视镜距的测量简单。

[0251] ④沉降量的计算精度高

[0252] 由于采用了固定基准点沉降周期监测法作业存在等量消除现象,相关因素减少,所以沉降量的精度高。

[0253] 三. 沉降发生或继续的判断准则可发现较小的沉降发生

[0254] 在这项工程中,要求绝对保证该入口隧道边坡上方的大亚湾广东核电站 4 号镇墩和两条大型发电用输水管道的安全。4 号镇墩重约 50 吨左右,其下方是 6m 宽 8m 高的进入隧道入口洞段,其与洞顶之间的地质情况复杂,在隧道开挖爆破过程中会发生沉降。两条大型发电用输水管道被 4 号镇墩裹住以起到对管道内急流产生的强冲击力的镇压作用,据专业人员计算,当 4 号镇墩下沉 10.0mm 时将拉断输水管道,有可能会影响到发电。经过由大亚湾广东核电站安全委员会多次组织的专题安全会议研究决定,采用 1.8kg 的小装药量进行弱爆破缓慢掘进,监测工作在每次爆破后进行,通过监测数据判断沉降的发生或继续。

[0255] 沉降监测中误差  $m_b = \pm 0.81\text{mm}$ ,以二倍中误差为限差,因此在 (21) 式中令  $z_a =$

2。

[0256] 如表 1 所示,当监测到第 12 次时,发现有沉降的可能,引起关注。根据 (21) 式对第 12 次及以后的连续监测结果进行判断,可以肯定下沉已经开始,通过继续追踪监测确认,此次只是有一个小的下沉后没有再继续发展,一直稳定到第 20 次监测。但从第 21 次的监测数据又发现有下沉趋势,从表 2 可以看到,自第 23 次监测开始,其沉降量均值与其相应的临界值点进行比较,有充分理由肯定沉降又重新开始并且有加速持续下沉的可能,这从第 21 次~ 24 次连续 4 次监测得到的沉降均值可以看出,所以确认 4 号镇墩正在持续下沉,即第二个下沉期已经到来。当时建议各方引起高度重视,当下沉总量接近 -4.0mm 时,为了避免镇墩继续下沉加速而达到突然冒顶致使镇墩拉断输水管道的危险,上级果断下达了停工抢险令,经过一个多月的隧道内部加固支护以及对镇墩下方不良地质段进行灌浆加固处理,保证了 4 号镇墩和输水管道的安全。

[0257] 注意,判断第二个下沉期,需要从其各个沉降均值中减去第一个沉降期的沉降量,即减去上一个沉降期的最后一个沉降均值 -1.11mm 即可,由于该均值是经过 9 次监测结果得到的,所以误差很小可以忽略不计,结果见表 2。

[0258] 表 1

[0259]

n	观测第次	沉降量 (mm)	沉降均值 (mm)	$k_n$ (mm)
1	12	-1.5	-1.50	-1.62
2	13	-0.9	-1.20	-1.15
3	14	-1.7	-1.37	-0.94
4	15	-1.8	-1.48	-0.81
5	16	-1.0	-1.38	-0.72
6	17	-1.3	-1.37	-0.66
7	18	-1.1	-1.33	-0.61
8	19	0.3	-1.12	-0.57
9	20	-1.0	-1.11	-0.54

[0260] 表 2

[0261]

n	观测第次	沉降量 (mm)	沉降均值 (mm)	$k_n$ (mm)
1	21	-1.4	-0.29	-1.62
2	22	-2.2	-0.69	-1.15

3	23	-2.8	-1.02	-0.94
4	24	-3.6	-1.39	-0.81
5	25	-3.3	-1.55	-0.72
6	26	-2.3	-1.49	-0.66
7	27	-3.5	-1.62	-0.61
8	28	-3.5	-1.71	-0.57

[0262] 注：表 1 和表 2 中的第一列名 n 表示顺序号。

[0263] 图 2 是 4 号镇墩（也即 1 号变形监测点）的前 30 次监测沉降变化直方图。

[0264] 四．可对初始值进行修正,使其更加逼近真值,增加沉降预报的可靠性

[0265] 需要修正的必要原因是,在监测工作正式开始之前对初始值的有限次多余观测的精度仍然是有限的,重复利用现有可用监测成果数据对其进行继续修正将一举两得。一方面不影响进行正常的初期监测工作,另一方面利用尚未发生沉降时的监测结果顺便对此后监测工作至关重要的初始值进行修正,进一步提高监测工作的可靠性,使之预报更加准确。

[0266] （一）对初始高程修正的例子

[0267] 选择某监测点的第 1 次监测到第 20 次监测结果,将第 1 次监测高程作为初始高程,演示对初始高程的修正过程,见表 3。

[0268] 高程平均值列是对应观测高程列及前面高程的平均值。例如第三行的高程平均值是观测第次 1 ~ 观测第次 3 这 3 个观测高程的平均值,以此类推。第一个观测高程也当作一个特殊平均值。

[0269] 注：观测第次列表示第几次观测。

[0270] 把前 20 次观测高程平均值 20.04446 作为初始值的近似真值,高程均值差列是对应行的高程平均值与其近似真值的差,以便清楚地观察到初始值逼近真值的过程。

[0271] 表 3

[0272]

观测第次	观测高程 (m)	高程平均值 (m)	高程均值差 (mm)
1	20.04517	20.04517	0.7
2	20.04490	20.04503	0.6
3	20.04381	20.04463	0.2
4	20.04427	20.04454	0.1
5	20.04431	20.04449	0.0
6	20.04427	20.04446	0.0

7	20.04384	20.04437	-0.1
8	20.04602	20.04457	0.1

[0273] 从表中高程均值差可以看出,用第 4 次观测的高程平均值作为初始值已经接近真值了,因之后的高程均值差接近或达到 0,说明修正工作可告结束。

[0274] 注明:上表只说明对初始值的修正方法,因此第 9 次~20 次的记录没有必要再列出。

[0275] (二)对初始垂直角修正的例子

[0276] 对第 3 号监测点初始垂直角的修正情况,表 4 中  $\Delta h$  为沉降量、 $\Delta i$  为数学仪器高增量、 $\overline{\Delta h}$  为沉降量均值。观察  $\overline{\Delta h}$  列第 5 ~ 17 次监测可知,均值稳定在 -0.85mm 附近。

[0277] 表 4

观测第次	$\Delta h(mm)$	$\Delta i(mm)$	$\overline{\Delta h}(mm)$
1	-0.7	18.32	
2	0.4	2.33	-0.1
3	-0.2	-2.11	-0.2
4	-1.2	3.77	-0.4
5	-2.1	19.96	-0.8
6	-1.1	-27.97	-0.8
7	-1.7	-17.82	-0.9
8	0.7	-6.04	-0.7
9	-1.9	-6.72	-0.9
10	-1.0	27.08	-0.9
11	-0.2	-75.68	-0.8
12	-1.2	6.44	-0.9
13	-1.2	8.02	-0.9
14	0.7	3.01	-0.8

[0280] 取  $\overline{\Delta h} = -0.00085$ 、 $S = 78.666$ 、 $\alpha_0 = 4^\circ 45' 34''$ , 依 (26) 式计算得: $d\alpha_0 = -2.2''$ 。

[0281] 修正后的初始垂直角为: $\alpha'_0 = \alpha_0 + d\alpha_0 = 4^\circ 45' 34'' - 2.2'' = 4^\circ 45' 31.8''$ 。

[0282] 经修正计算,从第 6 行的  $\overline{\Delta h}$  列后续几个数据已经接近 0 或为 0,可以看出修正工作可以到此完成了,并用修正后的初始垂直角重新计算了沉降量。实际上,修正后的沉降量比修正前差一个常数 0.9mm,即把修正前的沉降量都加上这个常数也可得到与初始垂直角修正后相同的沉降量,所以对初始垂直角的修正与直接对沉降量的修正结果是等价的,二者存在一定的换算关系,见表 5  $\Delta h$  列。

[0283] 表 5

观测第次	$\Delta h(mm)$	$\Delta i(mm)$	$\overline{\Delta h}(mm)$
1	0.2	18.32	
2	1.3	2.33	0.7
3	0.7	-2.11	0.7
4	-0.4	3.77	0.4
5	-1.3	19.96	0.1
6	-0.2	-27.97	0.0
[0284] 7	-0.8	-17.82	-0.1
8	1.5	-6.04	0.1
9	-1.1	-6.72	0.0
10	-0.1	27.08	0.0
11	0.6	-75.68	0.0
12	-0.4	6.44	0.0
13	-0.4	8.02	0.0
14	1.5	3.01	0.1


[0285] 五.0 投资高效益

[0286] 本发明几乎是 0 投资的,不会因实施本发明而增加费用。一般情况下,在基准点附近很容易找到很多可以做后视点的稳定物体,而且做后视点固定照准标志也很简单,所以建立虚拟观测墩很容易。对于沉降的发生或继续的判断工作由计算机智能完成。对初始值可靠性的增加也是在初期监测工作的同时由计算机顺便去完成。无关性沉降量计算公式更是提供一种简便高效的算法以及工作量的减少。因此,本发明易实施,能节约资源、提高工作效率、减轻劳动强度。

#### 附图说明


[0287] 图 1 为大亚湾中微子实验站进入隧道入口边坡地质变形观测场示意图。


[0288] 1 号监测点就建立在 4 号镇墩顶部,用于监测镇墩的下沉。其它监测点用于监测整个边坡的位移情况。

[0289]  符号是监测点小型照准墩,旁边的数字 1 是监测点号,其顶部是螺丝,棱镜架

通过旋转安置到螺丝上一定深度,通过圆水准和管水准将棱镜架整平,棱镜架面板上有一条过镜头中心的水平线,用来精确照准观测垂直角。照准墩的建立:用电钻向地面深处打孔,孔深 2m 左右,然后放入一根直径约为 2cm、长度约为 2.5m 左右的钢筋并固化,露出地面部分用钢筋水泥预制成棱台状墩,顶端焊接一段标准螺丝,基本垂直,以供安置棱镜架。

[0290] 注意:在观测墩上安放棱镜架、整平圆水准气泡之前,先将三个脚螺丝统一放到最低但保留大约 1/10 周的可微动余地,为最后可能需要的精确调平使用,然后只用其它两个脚螺丝进行整平,这样可以消除因每次安放棱镜架时三个脚螺丝处于不同高度整平而引起的高度误差,实践证明这种误差可能有大约  $\pm 1.0mm$ ,这一措施可消除它。

[0291]  符号是露出地面 0.1m 长、直径约为 2.5cm 的垂直钢筋露头,旁边的数字 4 是监测点号,其顶部水平,涂上白色油漆,由于基准点较低,所以从望远镜中看上去,钢筋露头的顶部是一小段白色细水平线,用以切准观测垂直角。

[0292]  符号是仪器三脚架和全站仪,其垂直下方地面上的小黑点是基准点,用于全站仪对中之用。

[0293]  $V_1$  + 符号的小十字交叉中心是后视点照准标志, $V_1$  是后视点名,其中 V 指明该类后视点是用于垂直角观测的意思,右下角的 1 是后视点号,表示这是第一个后视点。

[0294]  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$  为三个后视点, $V_1$  位于坚固的墙壁上、 $V_2$  位于稳定的边墙立柱上、 $V_3$  位于电线杆上。

[0295]  符号就是广东核电站两条大型发电用输水管道。

[0296] 图 2 是大亚湾核电站 4 号镇墩 (也即 1 号变形监测点) 在监测期间的前 30 次沉降变化直方图;

[0297] 图 3 是适合沉降监测的左尾假设检验法接受域 - 拒绝域图。

## 具体实施方式

[0298] 实施方式 1

[0299] 地质边坡沉降监测。概述一般实施过程和基本步骤:

[0300] (a) 在距离监测区域适当的地方选择一个基准点位置,用于架设全站仪;

[0301] (b) 在监测区域确定监测点的数量和布局,并在要监测的位置上建立监测目标 (如照准墩、打建钢筋或木桩等)、在监测目标上做固定照准标志,或使用觇板;

[0302] (c) 在适当位置选择三个后视点,做上十字照准标记,其十字线粗以能在望远镜中精确照准其交点即可,不要太粗。如果不使用虚拟观测墩而是使用观测墩或仪器三脚架,可以略过此步;

[0303] (d) 测量基准点中心到各后视点的后视距,可以用全站仪测距,也可以用钢尺量距;

[0304] (e) 架设全站仪观测各后视点的初始垂直角和各监测点的初始垂直角,以及各监测点固定照准标志中心到基准点中心的水平距;

[0305] (f) 定期进行监测,并判断沉降的开始发生或继续;

[0306] (g) 对沉降量精度进行估计。

[0307] 一般性说明:

[0308] 对于 (a),基准点要选在避开环境干扰的地方。一般采用单基准点观测,即在一个基准点上一次同时把所有监测点观测完,这就需要在选择基准点时要有技巧。如果一个基准点确实无法覆盖所有的监测点时,才考虑进行多基准点观测,并且相邻的两个基准点要重复观测两个监测点,以便进行沉降量交差检查。

[0309] 对于 (b),在被监测区域选择若干个监测点,其数量和具体位置由专业人员负责确定,例如,若是地质变形监测则应该由地质人员确定,若是建筑物沉降监测则应由建筑人员配合确定。

[0310] 对于 (c),相邻后视点间隔角度应该较大,不要将所有后视点选在同一个方向上,确切地说,是要尽可能将它们选在不同的地下结构块上,以免一个地方因某种因素下沉造成多个后视点下沉。



[0311] 对于 (c)、(d),也可以采用反射片,既可以作为照准中心,又可以观测距离。但有的全站仪可能没有观测反射片的功能。

[0312] 对于 (e),当观测场建立完善以后,架设全站仪,观测必要初始值:各个后视距、后视点的初始垂直角,各个监测点的初始垂直角和水平距;

[0313] 对于 (f),后次监测是一项周期性工作,一般按具体的工程文件所规定的周期和完成时间进行。每次后次监测的观测量有:各后视点的垂直角,全部或部分变形监测点的垂直角,如果沉降伴随有平面位移则还需要观测水平距,然后计算沉降量并判断沉降的开始发生或继续。

[0314] 对于 (g),是对沉降量精度的验后估计。实际上,在监测工作开始之前和建立观测场期间就要根据现有资源设备和环境等因素估计出沉降量所能达到的精度是否符合工程要求,仍然是通过 (3) 式和基于 (15) 式或基于 (16) 式估计出沉降量中误差,通过调整其中的参数使之满足具体工程沉降监测的精度要求,这些参数主要有:

[0315] 水平距中误差  $m_s$ 、水平距长度  $S$ 、垂直角观测中误差  $m_a$ 、监测点的初始垂直角  $\alpha_0$  的大小及其增量范围、数学仪器高增量中误差  $m_{\Delta i}$ ,其中主要参数是  $S$  和  $m_a$ 。而与数学仪器高增量中误差  $m_{\Delta i}$  有关的参数有:

[0316] 后视距中误差  $m_b$ 、垂直角观测中误差  $m_a$ 、后视距长度  $D$ 、后视点的初始垂直角  $\alpha_1$  的大小及其增量范围,使用者应根据仪器的精度和工程的具体情况按式 (3) 预先做出估计,通过调整公式中的四个参数  $m_b$ 、 $\alpha_1$ 、 $D$ 、 $m_a$ ,以得到适合的数学仪器高增量中误差,其中主要参数是  $D$  和  $m_a$ 。

[0317] 实例

[0318] 如图 1:左半部分是虚拟观测墩,它由三个后视点、基准点、仪器三脚架和全站仪组成。右半部分就是要监测的区域,共布设 9 个监测点。

[0319] 一个虚拟观测墩就将 9 个监测点全部观测完。正式监测开始前,已获得了所有后视点和监测点的初始垂直角以及水平距和后视距。

[0320] 当监测到第 12 次开始,发现连续出现负的沉降量,数值虽然不大,但通过判断法则断定第一次沉降已经发生,其沉降量为  $-1.1\text{mm}$ ,但没有继续发展。当监测到第 21 次开始,通过判断法则发现第二次沉降开始发生,并且持续下沉,通过停工进行加固处理,保证了工程安全。

[0321] 现以最重要的一个监测点 4 号镇墩(也即 1 号监测点)的沉降监测过程以直方图展现,见图 3。因文档宽度有限,直方图只清楚地展现前 30 次监测,以能说明沉降开始发生和继续问题。

[0322] 实施方式 2

[0323] 隧道断面洞顶沉降监测。概述一般实施过程和基本步骤:

[0324] (a) 在隧道底部距离洞顶适当位置选择一个基准点并做地面标志,用于架设全站仪对中之用;

[0325] (b) 在洞顶建立固定照准标志,并确定基准点中心到洞顶点的水平距;

[0326] (c) 在洞壁上适当的固定位置选择三个后视点,做上十字标记,其十字线粗以能在望远镜中精确照准其交点即可,不要太粗。如果采用观测墩或仪器三脚架,可以略过此步;

[0327] (d) 测量基准点中心到后视点的后视距;

[0328] (e) 架设全站仪观测各后视点的初始垂直角和洞顶点的初始垂直角；

[0329] (f) 定期进行监测,并判断沉降的开始发生或继续；

[0330] (g) 对沉降量精度进行估计。

[0331] 一般性说明：

[0332] 对于 (a),基准点要选在避开施工干扰、且靠近洞壁附近的洞底处,以免施工机械的轮胎或链轨长期碾压使得点的位置消失或难找。然而,假设基准点被施工机械偶然碾压也没有关系,只要基准点的平面位置存在即可,因为本发明的无关性沉降量计算方法并不需要基准点有高程,但应保证至少一个近距后视点稳定。

[0333] 对于 (b),可以让施工单位在施工过程中适当的时候在需要监测的洞顶处建立观测标志,一般用小十字作为照准标志。水平距的精度只要不影响沉降量的精度即可,可通过对沉降量的精度影响(即中误差)估算获知。

[0334] 对于 (c),在困难时建议也要至少选择两个后视点。

[0335] 对于 (c)、(d),也可以采用反射片。

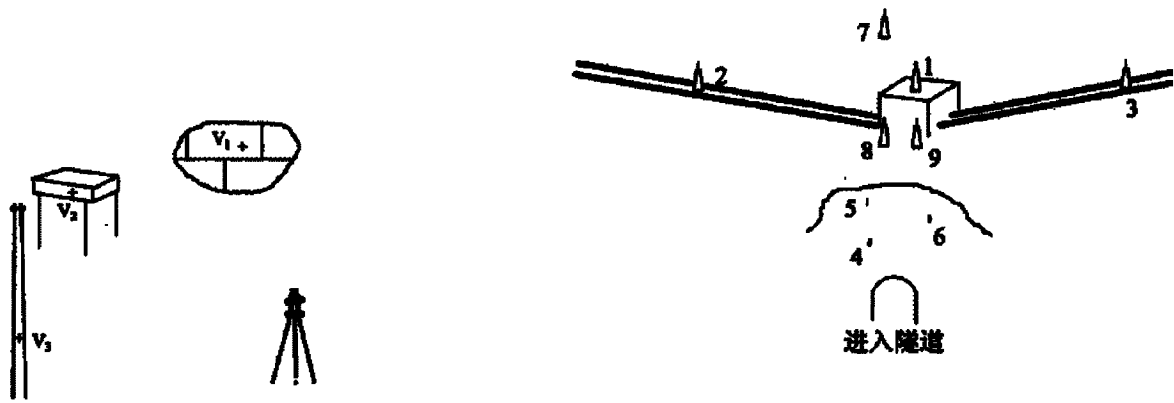


图 1

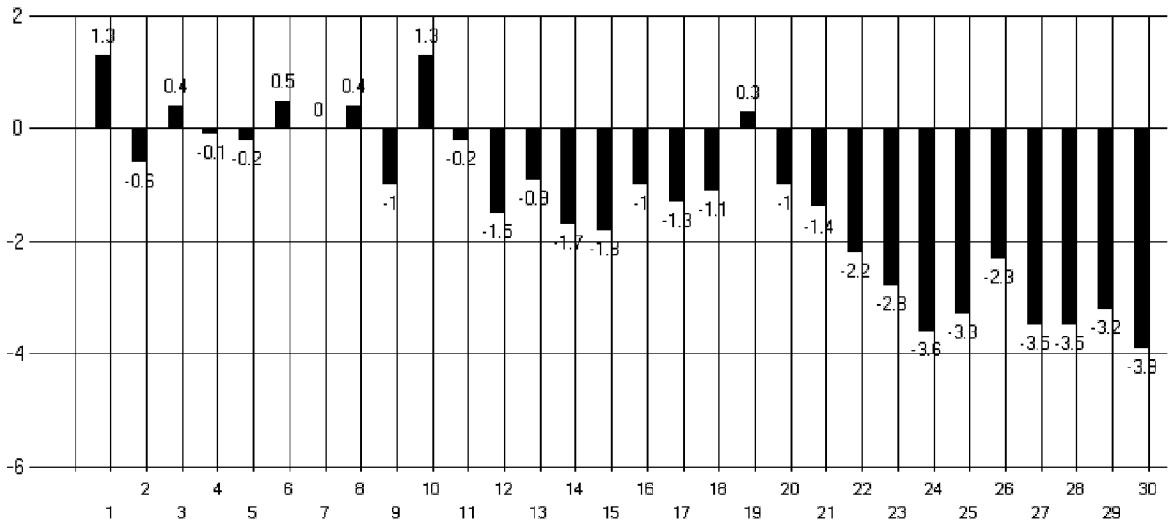


图 2

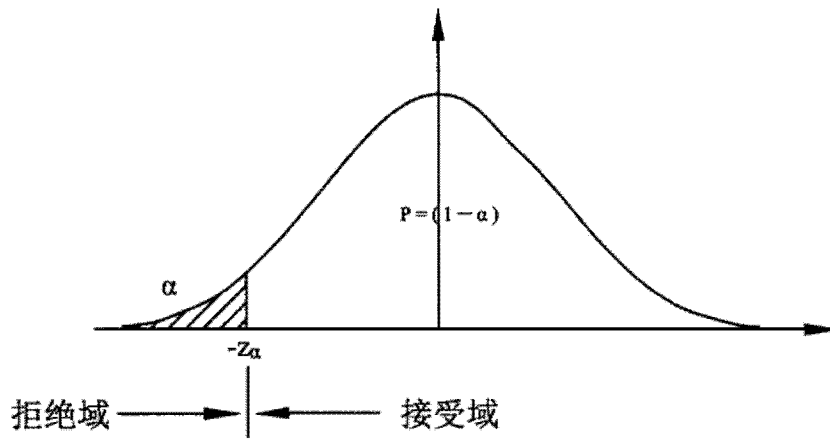


图 3